

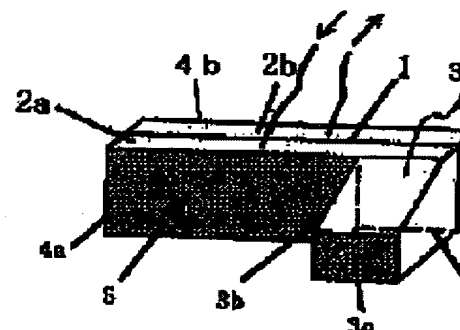
**MECHANICAL AND ELECTRIC CONVERTING ELEMENT, ITS MANUFACTURE, AND ACCELERATION SENSOR**

**Patent number:** JP11118823  
**Publication date:** 1999-04-30  
**Inventor:** SUGIMOTO MASAHIRO; OOTSUCHI TETSUO; TOMITA YOSHIHIRO; KAWASAKI OSAI  
**Applicant:** MATSUSHITA ELECTRIC IND CO LTD  
**Classification:**  
- international: G01P15/09; H01L41/08; H01L41/22  
- european:  
**Application number:** JP19970280649 19971014  
**Priority number(s):**

**Abstract of JP11118823**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a small sized sensor less in variation of sensitiveness in an acceleration sensor for detecting an impact and acceleration applied to equipment.

**SOLUTION:** A mechanical and electric converting element 5 is provided with a piezoelectric vibrator 1 formed with two piezoelectric bodies 2a and 2b connected to each other, a supporting body 3 which is formed at the end part of one principal plane of the piezoelectric vibrator 1 and has a mounting surface 3a for installation at a specified angle relative to the principal plane, and a pair of electrodes 4a and 4b formed on both principal planes of the piezoelectric vibrator 1 relatively to each other, respectively. The mounting surface 3a for installation of the mechanical and electric converting element 5 is fitted closely to the mounting surface so that the inclination of the principal plane relative to the mounting surface is set at a specified angle.



↑:分極方向

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-118823

(43)公開日 平成11年(1999) 4月30日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

識別記号

F I

G 0 1 P 15/09

G 0 1 P 15/09

H 0 1 L 41/08

H 0 1 L 41/08

Z

41/22

41/22

Z

審査請求 未請求 請求項の数15 O L (全 9 頁)

(21)出願番号 特願平9-280649

(22)出願日 平成9年(1997)10月14日

(71)出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72)発明者 杉本 雅人

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72)発明者 大土 哲郎

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72)発明者 富田 佳宏

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(74)代理人 弁理士 松田 正道

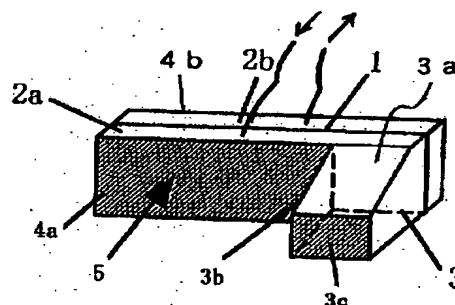
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 機械-電気変換子、機械-電気変換子の製造方法及び加速度センサ

(57)【要約】

【課題】 機器に加わる衝撃や加速度を検知する加速度センサにおいて、接着剤などを介して機械-電気変換子を斜めに設置して、加速度検知方向を2軸化すると、設置角度にばらつきを生じる。そのため、結果としてセンサの感度にばらつきを生じてしまう。

【解決手段】 2つの圧電体2 a、2 bが接合されて形成された圧電振動子1と、圧電振動子1の一方の主面の端部に形成され、一方の主面に対してあらかじめ定めた角度をなす実装装着面3 aを有する支持体3と、圧電振動子の両主面に相対して形成された一対の電極4 a、4 bとを備える機械-電気変換子5を、実装装着面3 aを実装面に密着させることによって、前記主面の前記実装面に対する傾斜が前記あらかじめ定めた角度になるように、前記実装面に装着させる。



↑:分極方向

1 圧電振動子

2 a、2 b 圧電体基板

3 支持体

3 a 実装装着面

4 a、4 b 電極

5 機械-電気変換子

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 少なくとも2つの圧電体が接合されて形成された振動子と、前記振動子の少なくとも一方の主面の一部に形成され、前記一方の主面に対してあらかじめ定めた角度をなす実装装着面を有する支持体と、少なくとも前記振動子の両主面の全部または一部に相対して形成された一対の電極とを備えることを特徴とする機械-電気変換子。

【請求項2】 前記振動子は、前記少なくとも2つの圧電体が直接接合されて形成されたものであることを特徴とする請求項1に記載の機械-電気変換子。

【請求項3】 前記振動子は、前記実装装着面と面一となる面を有することを特徴とする請求項1または2に記載の機械-電気変換子。

【請求項4】 前記支持体と前記一方の主面との境界となる隅部は、丸みつけられていることを特徴とする請求項1～3のいずれかに記載の機械-電気変換子。

【請求項5】 前記支持体と前記一方の主面との境界となる隅部は、面取りされていることを特徴とする請求項1～3のいずれかに記載の機械-電気変換子。

【請求項6】 前記丸みつけの半径、または、前記面取り部の長さは、前記振動子の厚み以下であることを特徴とする請求項4または5に記載の機械-電気変換子。

【請求項7】 前記振動子は、その長さ方向において、前記支持体が形成されている支持部と、それ以外の振動部とに区分され、前記電極の前記実装面への出力は、前記支持体および／または前記支持部を介して行われることを特徴とする請求項1～6のいずれかに記載の機械-電気変換子。

【請求項8】 前記支持体は、前記振動子の長さ方向において、前記振動子の実質上端部に形成されていることを特徴とする請求項1～7のいずれかに記載の機械-電気変換子。

【請求項9】 前記支持体は、前記振動子の長さ方向において、前記振動子の実質上中央部に形成されていることを特徴とする請求項1～7のいずれかに記載の機械-電気変換子。

【請求項10】 前記支持体は、前記圧電体と同じ材質であることを特徴とする請求項1～9のいずれかに記載の機械-電気変換子。

【請求項11】 前記圧電体は、 $\text{LiNbO}_3$ 、 $\text{LiTaO}_3$ 、 $\text{KNbO}_3$ 、水晶、ランガサイトのいずれかであることを特徴とする請求項1～10のいずれかに記載の機械-電気変換子。

【請求項12】 少なくとも2つの分極された圧電体を、分極軸を反転して接合して接合体を形成する圧電体接合工程と、前記接合体の少なくとも一方の主面をあらかじめ定めた厚みに薄板化する薄板化工程と、前記薄板化された主面の反対側の面に、実質的にU字形の形状を有し、製造しようとする加速度センサの数および寸法に

応じた数および寸法の、U字溝を形成するU字溝形成工程と、前記形成されたU字溝の方向と平行に前記接合体を切断するU字溝方向切断工程とを含むことを特徴とする機械-電気変換子の製造方法。

【請求項13】 前記圧電体接合工程において、前記圧電体は、直接接合によって、接合されることを特徴とする請求項12に記載の機械-電気変換子の製造方法。

【請求項14】 前記U字溝方向切断工程の前に、前記U字溝と垂直方向に、実質的にV字形の形状を有するV字溝を形成するV字溝形成工程と、前記V字溝形成工程の後に、前記形成されたV字溝の方向と平行に前記接合体を切断するV字溝方向切断工程とを含むことを特徴とする請求項12または13に記載の機械-電気変換子の製造方法。

【請求項15】 請求項1～11のいずれかに記載の機械-電気変換子と、前記機械-電気変換子が装着される実装面とを備え、前記機械-電気変換子は、前記実装装着面を前記実装面に密着させることによって、前記両主面の前記実装面に対する傾斜が前記あらかじめ定めた角度になるように、前記実装面に装着されることを特徴とする加速度センサ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、加速度の測定および振動の検知などに使われる機械-電気変換子とその製造方法及び加速度センサに関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、電子機器の小型が進み、ノート型パソコン等の携帯用情報機器が急速に普及している。これらの電子機器の衝撃に対する信頼性を確保・向上するために、小型で表面実装可能な高性能の加速度センサへの需要が高まっている。例えば、高密度のハードディスクへの書き込み動作中に衝撃が加わると、ヘッドの位置ずれが生じる。その結果、データの書き込みエラーやヘッドの破損を引き起こす可能性がある。そこで、ハードディスクに加わった衝撃を検出し、書き込み動作を停止したり、ヘッドを安全な位置に退避させる必要がある。

【0003】また、自動車の衝突時の衝撃から搭乗者を保護するためのエアバック装置の衝撃検知用加速度センサなどの需要も高まっている。

【0004】従来、加速度センサとしては、圧電セラミック等の圧電材料を用いたものが知られている。これらの加速度センサは、圧電材料の電気-機械変換特性を利用することによって、高い検出感度を実現することができる。圧電型の加速度センサは、加速度や振動による力を圧電効果によって電圧に変換し、出力する。このような加速度センサとしては、片持ち梁型構造の矩形形状バイモルフ型振動子がある。

【0005】バイモルフ型振動子は、図8に示すように電極を形成した圧電セラミック51a、51bをエポキ

シ樹脂等の接着剤53で貼り合わせて形成したものである。図8において、51a、51bは圧電セラミック、52a、52bは電極、53は接着剤、54は導電性接着剤、55は固定部材であり、圧電セラミック51a、51b、電極52a、52b、接着剤53から機械-電気変換子50が構成されている。片持ち梁構造のバイモルフ型振動子は、図8に示すように機械-電気変換子50の片端を導電性接着剤54などで接着固定したものである。片持ち梁型構造のバイモルフ素子は、その共振周波数が低いので比較的低い周波数成分を持つ加速度を測定するの用に用いられる。また、高い周波数領域の加速度を測定する場合には、図9に示すように機械-電気変換子50の両端を固定部材55に接着剤54等で固定した両持ち梁構造のバイモルフ素子が用いられる。機械-電気変換子50の両端を固定することによって、共振周波数を比較的高くすることができる。

【0006】また、図10に示すように、容器57内に設置された固定部材55に、機械-電気変換子50を固定して、容器内に納めた状態で使用される加速度センサがある。この加速度センサは、固定部材55に機械-電気変換子50を斜めに固定することによって、平面方向（図上にyで示す）と垂直方向（図上にzで示す）の2軸方向に感度を有するものであり、平面方向および垂直方向それぞれに設置する場合に比べて、センサの設置数を減らすことができる。なお、図上のx軸方向および機械-電気変換子50の主面と垂直な方向へは感度を持たないため、この方向の加速度検知が必要な場合は、図10の加速度センサとは別に、前記方向に感度を有する加速度センサを備える必要がある。この場合、両方向の加速度センサは、本例と同じ構成をとることによって、兼用できる。また、y及びz軸方向への感度は、機械-電気変換子50の主面傾斜角θにより決定される。そのため、この設置角度がばらつくと、それぞれの方向の振動に対する感度ばらつきの原因となる。

【0007】なお、これらの振動により電極に生じた電荷は、導電性接着剤54等を介して外部電極56へ取り出されている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述した加速度センサの感度を安定にするためには、その共振周波数を安定にしなければならない。そのためには、機械-電気変換子の固定状態を安定なものにしなければならないが、実際には機械的あるいは温度変化などにより発生する応力により金属等の支持部または固定部材で支持または固定している部分にずれが生じる。例えば、接着剤を使用して固定する場合には接着剤の塗布範囲により、固定の位置および範囲が変わってしまい、圧電振動子の共振周波数がばらついてしまう。また、接着剤の温度変化により固定状態が変動し、安定な固定状態を得ることが困難であるなどの課題がある。これらの課題

は、感度方向を2軸化した場合には、それぞれの軸方向の感度にばらつきを生む原因にもなっている。

【0009】したがって、前述したように従来の方法では、安定した支持・固定状態を実現することはむずかしく、圧電振動子の共振周波数のばらつきが大きくなり、加速度に対する感度のばらつきが大きくなるという課題を有している。一方、機械-電気変換子の支持・固定状態を安定なものにするために、別の固定手段を加速度センサの容器内に設置しようとする、加速度センサの小型化を妨げ、工程数も多く、煩雑になるといった問題が生じてくる。

【0010】また、上述した機械-電気変換子は、複数の圧電セラミックをエポキシ樹脂などの接着剤で貼合わせたバイモルフ型圧電振動子を用いており、圧電セラミックのヤング率 $15 \times 10^{11} \text{ m}^2/\text{N}$ にくらべてエポキシ樹脂のヤング率は $200 \times 10^{11} \text{ m}^2/\text{N}$ と大きいいため、加速度が加わったことによる圧電振動子の振動を接着剤が吸収し、圧電振動子自身の感度を低減させてしまうという問題を有している。また、接着層を均一にして接着することは困難であるため、上記振動の吸収の度合いがばらつくことによって、圧電振動子の特性のばらつきを生むという問題も有している。

【0011】本発明は、従来の機械-電気変換子および加速度センサのこのような課題を考慮し、支持・固定状態が安定する機械-電気変換子およびその製造方法を実現することによって、感度のばらつきが小さい、小型の加速度センサを提供することを目的とするものである。さらには、上記に加え、接着層による振動の吸収を抑制することによって、広い周波数領域にわたって高感度を有し、感度等の特性のばらつきのきわめて小さい、機械-電気変換子、その製造方法および加速度センサを提供することを目的とするものである。

【0012】

【課題を解決するための手段】請求項1の本発明は、少なくとも2つの圧電体が接合されて形成された振動子と、前記振動子の少なくとも一方の主面の一部に形成され、前記一方の主面に対してあらかじめ定めた角度をなす実装装着面を有する支持体と、少なくとも前記振動子の両主面の全部または一部に相対して形成された一対の電極とを備えることを特徴とする機械-電気変換子である。

【0013】請求項2の本発明は、前記振動子は、前記少なくとも2つの圧電体が直接接合されて形成されたものであることを特徴とする請求項1に記載の機械-電気変換子である。

【0014】請求項12の本発明は、少なくとも2つの分極された圧電体を、分極軸を反転して接合して接合体を形成する圧電体接合工程と、前記接合体の少なくとも一方の主面をあらかじめ定めた厚みに薄板化する薄板化工程と、前記薄板化された主面の反対側の面に、実質的

10

20

30

40

50

にU字形の形状を有し、製造しようとする加速度センサの数および寸法に応じた数および寸法の、U字溝を形成するU字溝形成工程と、前記形成されたU字溝の方向と平行に前記接合体を切断するU字溝方向切断工程とを含むことを特徴とする機械-電気変換子の製造方法である。

【0015】請求項13の本発明は、前記圧電体接合工程において、前記圧電体は、直接接合によって、接合されることを特徴とする請求項12に記載の機械-電気変換子の製造方法である。

【0016】請求項15の本発明は、本発明の機械-電気変換子と、前記機械-電気変換子が装着される実装面とを備え、前記機械-電気変換子は、前記実装装着面を前記実装面に密着させることによって、前記両主面の前記実装面に対する傾斜が前記あらかじめ定めた角度になるように、前記実装面に装着されることを特徴とする加速度センサである。

【0017】

【発明の実施の形態】以下に、本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。

【0018】(第1の実施の形態)図1は本発明の第1の実施の形態における機械-電気変換子を示す斜視図である。なお、図1は、加速度センサとして実装されている状態における実装面側から見た図である。

【0019】図1の圧電振動子1は、圧電体として2枚の $140^\circ$  Ycutニオブ酸リチウム( $\text{LiNbO}_3$ ) 2a、2bからなる矩形基板(以下LN基板と称す)を、それぞれの分極方向が図1に示す方向になるように、直接接合によって貼合わせ、結晶のX軸と垂直な方向を長手方向となるようにした圧電振動子であり、これにLN基板2a、2bと同じウエハからなる支持体3が片側に形成されている。また、支持体3は、圧電振動子1の一方の主面とあらかじめ定めた角度 $\theta$ をなす実装装着面3aを有する多面体であり、圧電振動子1の一方の主面の最端部に形成されている。

【0020】また、電極4a、4bは、Ni層を下地にして、たとえばメッキにより形成された金電極であり、電極4aは、圧電振動子1の支持体3が形成されている主面の、支持体3が形成されている部分を除いた部分、および支持体3の面3b、3cに形成されており、電極4bは、圧電振動子1のもう一方の主面全面に形成されている。

【0021】機械-電気変換子5は、圧電振動子1、支持体3および電極4a、4bから構成されている。

【0022】なお、本実施の形態における機械-電気変換子では、支持体3を含めた機械-電気変換子5端部の厚みをほぼ $500\mu\text{m}$ 、圧電振動子1の厚みをほぼ $100\mu\text{m}$ とする。圧電体としてLN基板を使用する場合、圧電振動子1の厚みが $100\mu\text{m}$ 程度であれば、一般的な機械-電気変換子の機械強度に関する仕様を満足す

る。

【0023】図2は本実施の形態における機械-電気変換子を実装した加速度センサを示す斜視図である。

【0024】図2に示すように、本実施の形態における機械-電気変換子5は、図1で示された実装装着面3aを容器10の実装面に密着させることによって、圧電振動子1の電極4bが形成された主面の前記実装面に対する傾斜が前記あらかじめ定めた角度 $\theta$ となるように、容器10上に固定されている。また、電極4a、4bは、それぞれ導電性樹脂11a、11bを介して外部電極12a、12bに接続されている。このように実装されると、特別な固定部材がなくとも、主面に確実に傾斜を持たせることができる。また、このときの傾斜角は、実装装着面3aの傾斜を変えることで、任意に設定可能である。しかも、実装装着面3aおよび実装面を平滑にさえしておけば、一意にその傾斜角が決まり、機械-電気変換子5の支持・固定状態を安定させることができる。

【0025】なお、本実施の形態において、電極4aは支持体3の面3b、3cにも形成され、電極4bは圧電振動子1の一方の主面全面に形成されているとして説明したが、これに限らず、少なくとも圧電振動子1の両主面の一部に相対して形成されておりさえすればよい。このとき、電極4a、4bと外部電極12a、12bとの接続を、電極4bが形成されている主面の支持体3と相対する部位および/または支持体3(本発明の支持体および/または支持部に相当する部位)を介して行くと、圧電振動子1の振動特性を阻害することなく、接続が行える。

【0026】また、本発明の振動子は、本実施の形態においては矩形板であるLN基板を2枚張り合わせたものとして説明したが、矩形板である必要はなく、検出の対象となる振動数に適合した振動特性を有する形状でありさえすればよい。

【0027】さらに、本発明の支持体は、本実施の形態においては、本発明の振動子の一方の主面上に形成されているとして説明したが、これに限らず、本発明の振動子と一体で形成されているとしてもよい。

【0028】(第2の実施の形態)次に、本発明の第2の実施の形態を図面を参照して説明する。

【0029】図3(a)は、本発明の第2の実施の形態における機械-電気変換子を示す斜視図である。本実施の形態における機械-電気変換子は、主面傾斜角 $\theta$ が $90^\circ$ となり、支持体3の面3bと圧電振動子1の主面との境界の隅部が滑らかなカーブをもったR面に加工されている点以外は、上述した第1の実施の形態における機械-電気変換子と同様である。したがって、本実施の形態において、第1の実施の形態と同様の機能を持つ物については、図中の符号を同じにして、説明を省略する。また、特に説明のないものについては、第1の実施の形態と同じとする。

【0030】図3(b)は図3(a)中のa面を示す平面図である。図からわかるように、振動部の根本がRを持つように丸みつけ加工(R加工)され、支持体方向に向けて徐々に太くなっているため、機械的な強度を上昇させることができる。そのため、過大な衝撃に対して、センサ自体の破損が防止されるため、より大きな衝撃の検知が可能となる。なお、このR面の半径は大きくなりすぎると、圧電振動子のたわみを阻害するため、圧電振動子の厚み以下とすることが好ましい。本実施の形態においては、圧電振動子1の厚みを $100\mu\text{m}$ としているので、R加工の半径も $100\mu\text{m}$ 以下となるように、 $50\mu\text{m}$ としている。

【0031】なお、図3(c)に示すように、R加工の替わりに、平面状に面取りをしたc面加工を施しても同様の効果が得られる。この場合もR加工と同様に、c面の長さを厚み以下とすることが好ましい。

【0032】なお、本実施の形態において、主面傾斜角 $\theta$ は $90^\circ$ であるとして説明したが、これに限るものではない。

【0033】(第3の実施の形態)次に、本発明の第3の実施の形態を図面を参照して説明する。

【0034】図4は、本発明の第3の実施の形態における機械-電気変換子を示す斜視図である。本実施の形態における機械-電気変換子は、支持体3が圧電振動子1のほぼ中央に位置している点以外は、上述した第1の実施の形態における機械-電気変換子と同様である。したがって、本実施の形態においても、第1の実施の形態と同様の機能を持つ物については、図中の符号を同じにして、説明を省略する。また、特に説明のないものについては、第1の実施の形態と同じとする。

【0035】支持体3は、圧電振動子1の一方の主面とあらかじめ定めた角度 $\theta$ をなす実装装着面3aを有する多面体であり、圧電振動子1の一方の主面のほぼ中央部に形成されている。これによって、本実施の形態における機械-電気変換子5は、中央部で支持された1対の片持ち梁構造の振動部を有している。

【0036】また、電極4a、4bは、Ni層を下地にして、たとえばメッキにより形成された金電極であり、電極4aは、圧電振動子1の支持体3が形成されている主面の、支持体3が形成されている部分を除いた部分、および支持体3の面3b、3c、3dに形成されており、電極4bは、圧電振動子1のもう一方の主面全面に形成されている。

【0037】本実施の形態における機械-電気変換子のような中心支持構造の機械-電気変換子では、第1の実施の形態における機械-電気変換子のような端部支持構造の機械-電気変換子と同じ共振周波数を持たせた場合、端部支持構造の機械-電気変換子に比し、電荷発生量を稼げるため、より高感度の機械-電気変換子が得られる。さらに、本実施の形態における機械-電気変換子

を実装面に装着した場合、従来例のように接着剤で支持する場合とは異なり、支持点が中央に正確に加工されるため、支持点のばらつきが小さく、支持・固定状態による感度のばらつきを抑制させることができる。しかも、実装装着面3aおよび実装面を平滑にさえしておけば、一意にその傾斜角が決まり、機械-電気変換子5の支持・固定状態をさらに安定させることができる。

【0038】なお、本実施の形態において、電極4aは支持体3の面3b、3c、3dにも形成され、電極4bは圧電振動子1の一方の主面全面に形成されているとして説明したが、これに限らず、少なくとも圧電振動子1の両主面の一部に相對し、かつ支持体3が形成されている中央部に対して対称に形成されておりさえすれば、上述した中心支持構造の機械-電気変換子としての効果が得られる。このとき、電極4a、4bと外部電極との接続を、電極4bが形成されている主面の支持体3と相對する部位および/または支持体3(本発明の支持体および/または支持部に相當する部位)を介して行くと、圧電振動子1の振動特性を阻害することなく、接続が行える。

【0039】また、本実施の形態における機械-電気変換子の支持体3と圧電振動子1の主面との境界の隅部に、第2の実施の形態で説明したようなR加工やc面加工を施してもよい。

【0040】(第4の実施の形態)次に、本発明の第4の実施の形態を図面を参照して説明する。

【0041】図5は、本発明の第4の実施の形態における機械-電気変換子の製造方法を示す図である。本実施の形態における機械-電気変換子の製造方法は、上述した第2の実施の形態における機械-電気変換子を製造するものである。

【0042】まず、図5(a)に示すように、機械-電気変換子の母材となる圧電板として約 $500\mu\text{m}$ の厚さに両面が鏡面研磨されたニオブ酸リチウム基板(以下LN基板)31a、31bを用意し、2枚のLN基板をそれらの結晶のZ軸(分極軸)が反転するように直接接合して、接合体31を形成する。(本工程は、本発明の圧電体接合工程に対応する工程である。)なお、直接接合の方法については、後で詳しく述べる。

【0043】次に、図5(b)に示すように、接合体31の一方の面を研削あるいは研磨により $50\mu\text{m}$ の厚みになるまで薄層化する。この際、直接接合された基板には接着層がないため、貼りむらによる厚みばらつきが小さく、均一に薄層化が可能である。(本工程は、本発明の薄板化工程に対応する工程である)。

【0044】その後、基板を裏返し、図5(c)に示すようにU字溝加工を行う。このとき用いる加工砥石は、先端の外周がR面加工あるいはc面加工したものであることが好ましい。また、この形状が、そのまま溝形状に転写されるため、任意の加工が可能である。本実施の形

態においては、溝に $50\mu\text{m}$ のRがつくように砥石側の形状を設定している。この構成によると、基板へのダメージも小さく、同時に、U字溝部（機械－電気変換子となったときの振動子と支持体の連結部にあたる）にR面（あるいはc面）加工が行えるため、耐衝撃性の大きな機械－電気変換子を大量に製造することが可能になる。この工程においては、深さ $450\mu\text{m}$ の溝入れ加工を行い、振動部の厚みが $100\mu\text{m}$ となるようにしている。（本工程は、本発明のU字溝形成工程に対応する工程である）。

【0045】最後に、図5（d）に示すように、U字溝の方向と平行に接合体31を、例えばダイシングソーなどを用いて切断した後（本工程は、本発明のU字溝方向切断工程に対応する工程である。）、少なくとも振動子にあたる部分の両主面の全部または一部に相対するように、Ni層を下地にして、たとえばメッキにより金電極を形成することによって、第2の実施の形態における機械－電気変換子が得られる。なお、電極を切断後に形成することが困難である場合は、電極を形成した後に切断を行ってもよい。また、接合体31のU字溝の方向の長さを機械－電気変換子の実質的に整数倍とすることによって、さらに多数の機械－電気変換子を一度に製造できるが、この場合は、本工程の前あるいは後に、U字溝と垂直な方向に切断する工程が必要となる。

【0046】ここで、本実施の形態において用いられている直接接合法について述べる。まず、圧電体であるニオブ酸リチウム基板の両面を鏡面研磨する。次に、この基板を洗浄した後、アンモニア：過酸化水素：水の混合液（アンモニア水：過酸化水素水：水＝1：1：6（容量比））に浸し、親水化処理を施す。

【0047】洗浄、親水化された表面は－OH基で終端され、水素結合などの引力で引き合う。この現象を利用して2枚のニオブ酸リチウムを分極方向が反対になるように接触させ、これらを一体化する。

【0048】さらに熱処理を加えることにより2枚のニオブ酸リチウム間が原子レベルで強固に接合される。ニオブ酸リチウムの場合、キュリー点が $1210^{\circ}\text{C}$ であり、これに近い温度履歴により特性が劣化するためキュリー点以下の熱処理が好ましい。

【0049】このように、接合したいものの鏡面研磨された面同士を表面処理し、接触させ、加熱することで、接着剤などの接着層を介さずに直接界面間に生ずる接合を、直接接合と呼ぶ。直接接合された材料は、その接合界面に共有結合やイオン結合などを含む原子レベルの強力な結合をもつ。本法により接合された基板は、前述したような後加工に十分耐える強度をもち、形状も自由に形成できる。

【0050】（第5の実施の形態）次に、本発明の第5の実施の形態を図面を参照して説明する。

【0051】図6は、本発明の第5の実施の形態にお

る機械－電気変換子の製造方法を示す図である。本実施の形態における機械－電気変換子の製造方法は、上述した第1または第3の実施の形態における機械－電気変換子を製造するものである。なお、本実施の形態における機械－電気変換子の製造方法では、本発明のU字溝形成工程までの工程（図5の（c）までの工程）は、前述した第4の実施の形態と同様であるので、本実施の形態においては、説明を省略する。

【0052】U字溝形成工程の後、図6（a）に示すようなようなU字溝が形成された接合体31が得られる。

【0053】次に、図6（b）に示すように、U字溝と垂直方向にV字溝を形成するために、V形状を持った砥石、例えばダイヤモンドカッターなどでV字溝加工を行う。（本工程は、本発明のV字溝形成工程に対応する工程である。）この時の切り込み量は、先に行ったU字溝加工と同じことが好ましいが、厳密に管理しなくとも特性には影響しない。その理由は後述する。

【0054】その後、図6（c）に示すように、通常の切断加工法、例えばワイヤーソーなどを用いて、図中の破線の位置でV字溝の1/2の間隔にて接合体31を切断する。（本工程は、本発明のV字溝方向切断工程に対応する工程である。）

【0055】最後に、図6（d）に示すように、V字溝方向切断工程において切断された接合体31の切断片それぞれを、さらに垂直方向（すなわちU字溝の方向）に切断した後、少なくとも振動子にあたる部分の両主面の全部または一部に相対するように、Ni層を下地にして、たとえばメッキにより金電極を形成することによって、第1または第3の実施の形態における機械－電気変換子5が得られる。本実施の形態においては、最終切断位置を図5（d）の破線の位置のように設定したが、U字溝の幅及びV字溝の間隔をかえることで、任意の切断位置を設定できる。これらの切断位置を、例えばダイシングソーなどを用いて正確に決定することで、寸法精度の高い機械－電気変換子素子が容易に得られる。

【0056】なお、本実施の形態において、V字溝形成工程で使用するV字形状の砥石等の先端角は傾斜させた角度を $\theta^{\circ}$ とすると $2 \times (90 - \theta)^{\circ}$ とすることが必要である（図6（b）参照）。また、この時の切り込み深さは、図7に示すように、深くとも浅くとも傾斜角度には影響しないため、切り込み深さについての管理を厳密に行わなくてもよいので、量産上も都合がよい。

【0057】なお、本実施の形態における機械－電気変換子の製造方法により、本発明の機械－電気変換子を製造すると、図7の正面図に示す圧電振動子の横手方向の端面の一部が、支持体の実装装着面と面一になる場合があるが、圧電振動子の振動特性に影響を与えない範囲のものであれば、このように、振動子が前記実装装着面と面一となる面を有していても問題ない。

【0058】以上のような方法により製造された本実施



の形態における機械－電気変換子は、一括して製造することが容易で、製造された圧電振動子は、支持部のニオブ酸リチウムと一体に形成されて、片持ち梁を構成する。

【0059】なお、ニオブ酸リチウム基板の溝部の加工方法は、研削に限るものではなく、ドライエッチング、ウェットエッチング、レーザ加工、ダイシングソーやワイヤーソーなどの機械加工、ウォータージェット加工、放電加工などをもちいてもよい。切断についても同様である。

【0060】また、電極の形成方法は、めっきに限るものでなく、真空蒸着やスパッタ法あるいはCVD法などの気相成膜法や、印刷などの方法を用いてもよい。

【0061】なお、本発明の圧電体は、上述した第1～第5の実施の形態において、ニオブ酸リチウムであるとして説明したが、これに限るものではなく、タンタル酸リチウム、水晶、 $\text{KNbO}_3$ 、ランガサイトなどでもよい。また、本発明の圧電体のカット面は140° Y-cutとして説明したが、これに限るものでなく、主面に加えた電界により、長さ方向に伸びを生ずるようなカットであり、圧電振動子がたわむことにより電荷を生ずるようなカットであればよい。

【0062】また、本発明の電極は、上述した第1～第5の実施の形態において、Ni層を下地にしてメッキにより形成された金電極であるとして説明したが、これに限るものではなく、金、クロム、銀やそれらの合金材料でもよい。

【0063】さらに、本発明の振動子は、上述した第1～第5の実施の形態において、2つの圧電体が直接接合されて形成されたものであるとして説明したが、これに限るものではなく、例えば、接着剤を用いた接合であっても、接着層による振動の吸収を抑制することによって、感度特性のばらつきを小さくするという効果は得られないものの、機械－電気変換子の支持・固定状態を安定させることによって、感度のばらつきを小さくするという効果は得られる。また、接合される圧電体の数も2枚に限るものではなく、検出の対象となる振動数に適合した振動特性を持つように接合されておりさえすれば、3枚以上であってもよい。

【0064】また、本発明の支持体は、上述した第1～第5の実施の形態において、本発明の振動子の主面の片側に1個のみが形成されているとして説明したが、これに限るものではなく、2個以上および／または両主面に形成される場合においても、検出の対象となる振動数に適合した振動特性を持つように形成されておりさえすればよい。

【0065】さらに、本発明の支持体は、上述した第1～第5の実施の形態において、本発明の圧電体と同じ材質であるとして説明したが、これに限るものではなく、違う材質であってもよい。

【0066】

【発明の効果】以上に説明したところから明らかなように、請求項1の本発明は、支持・固定状態が安定する機械－電気変換子を実現することによって、感度のばらつきが小さい、小型の加速度センサを提供することができる。

【0067】また、請求項2の本発明は、請求項1の本発明の効果に加え、接着層による振動の吸収を抑制することによって、広い周波数領域にわたって高感度を有し、感度等の特性のばらつきのきわめて小さい機械－電気変換子および加速度センサを提供することができる。

【0068】さらに、請求項12の本発明は、支持・固定状態が安定する機械－電気変換子の製造方法を提供することができる。

【0069】また、請求項13の本発明は、請求項12の本発明の効果に加え、接着層による振動の吸収を抑制することによって、広い周波数領域にわたって高感度を有し、感度等の特性のばらつきのきわめて小さい機械－電気変換子の製造方法を提供することができる。

【0070】さらに、請求項15の本発明は、支持・固定状態が安定する機械－電気変換子を備えることによって、感度のばらつきが小さい、小型の加速度センサを提供することができ、それに加え、接着層による振動の吸収を抑制することによって、広い周波数領域にわたって高感度を有し、感度等の特性のばらつきのきわめて小さい、機械－電気変換子を備えた加速度センサを提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態における機械－電気変換子を示す斜視図。

【図2】本発明の第1の実施の形態における機械－電気変換子を実装した加速度センサを示す斜視図。

【図3】本発明の第2の実施の形態における機械－電気変換子を示す斜視図および平面図。

【図4】本発明の第3の実施の形態における機械－電気変換子を示す斜視図。

【図5】本発明の第4の実施の形態における機械－電気変換子の製造方法を示す図。

【図6】本発明の第5の実施の形態における機械－電気変換子の製造方法を示す図。

【図7】本発明の第5の実施の形態における機械－電気変換子の斜視図および正面図。

【図8】従来の加速度センサにおける片持ち梁構造の振動子を用いた機械－電気変換子の断面図。

【図9】従来の加速度センサにおける両持ち梁構造の振動子を用いた機械－電気変換子の断面図。

【図10】従来の加速度センサにおける機械－電気変換子を実装した加速度センサを示す斜視図および正面図。

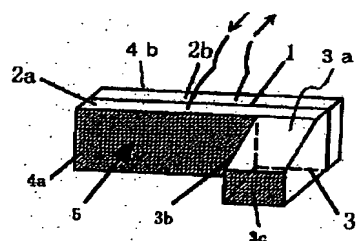
【符号の説明】

1 圧電振動子

- 2 a、b 圧電体基板  
3 支持体  
3 a 実装装着面  
4 a、b 電極  
5 機械-電気変換子  
10 容器  
11 a、b 導電性樹脂  
12 a、b 外部電極  
31 接合体

- \* 31 a、b 圧電体基板  
50 機械-電気変換子  
51 a、b 圧電セラミック  
52 a、b 電極  
53 接着剤  
54 導電性接着剤  
55 固定部材  
56 外部電極  
\* 57 容器

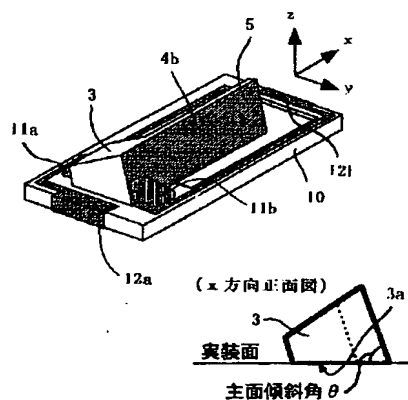
【図1】



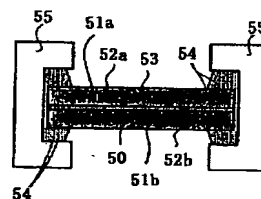
↑:分極方向

- 1 圧電振動子  
2 a、2 b 圧電体基板  
3 支持体  
3 a 実装装着面  
4 a、4 b 電極  
5 機械-電気変換子

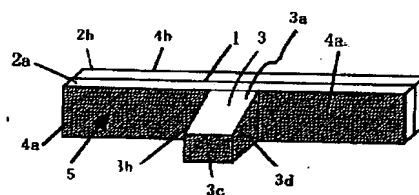
【図2】



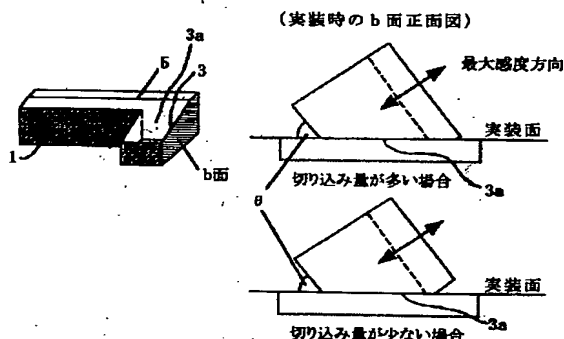
【図9】



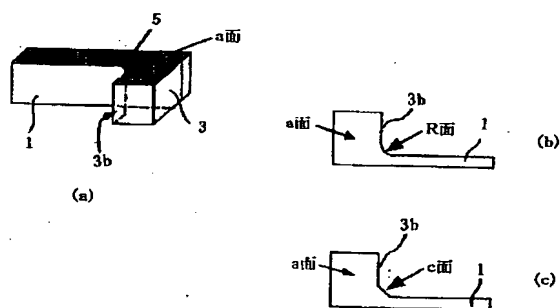
【図4】



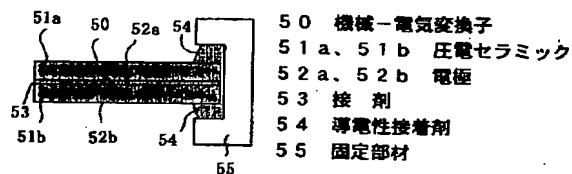
【図7】



【図3】

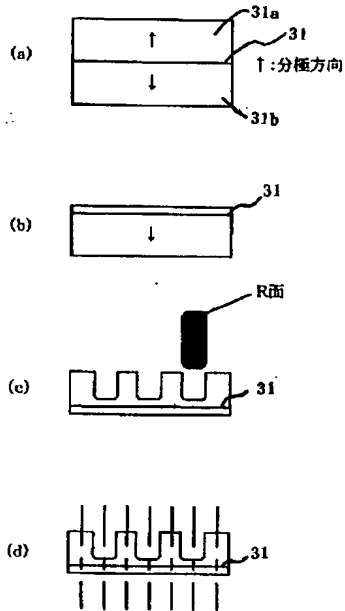


【図8】

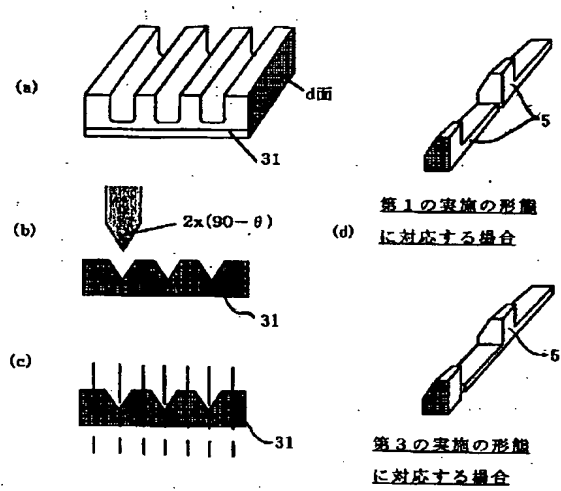


- 50 機械-電気変換子  
51 a、51 b 圧電セラミック  
52 a、52 b 電極  
53 接 剤  
54 導電性接着剤  
55 固定部材

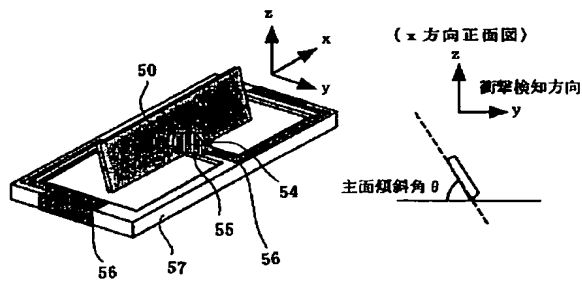
【図5】



【図6】



【図10】



フロントページの続き

(72)発明者 川▲さき▼ 修  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**